

모터전류를 기초로한 드릴마멸 모델링  
(Modeling of Drill Wear Based on Motor Current)

김화영\*(부산대 대학원)  
안중환 (부산대 정년기계공학과)  
김선호 (한국기계연구원)

1. 서론

최근의 생산시스템은 FMS, FMC와 같은 고도로 자동화된 생산시스템으로 운용되고 있으며, 생산성 향상을 위한 무인운전의 필요성이 증대되고 있으나, 숙련된 작업자를 대신하여 작업상태를 감시하는 신뢰성 있는 감시 시스템의 부족으로 인해 관심을 끌고 있다. 따라서 작업자를 대신할 수 있는 신뢰성 있는 감시 시스템의 개발을 필요로 한다. 특히 공구파손, 공구마멸과 같은 공구손상은 공작물 및 기계에 치명적 손상을 초래하고, 기계정지시간을 증가시키므로 공구파손 검출과 공구마멸의 실시간 센싱은 가공 프로세스의 자동화와 신뢰성을 증가시키는데 가장 중요한 역할을 수행한다.

드릴가공은 전체 절삭가공 중 약 25%를 차지하며, 특히 드릴파손은 후가공에 큰 영향을 미치므로 드릴가공 중 드릴파손이나 공구마멸로 인한 과부하를 검출하는 것이 중요하다. 드릴마멸의 인공프로세스 측정은 ITV 등을 이용하여 드릴의 기하학적 형상변화를 직접 검출하는 방법<sup>[1]</sup>과 센서를 이용하여 기하학적 형상변화에 의해 발생하는 절삭현상의 변화를 간접적으로 검출하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 후자의 경우 공구동력계를 이용하여 절삭저항의 시간적 변화로부터 마멸량을 추정하는 방법이 결과가 비교적 양호한 것으로 알려져 있다.<sup>[2]</sup> 공구동력계는 힘 센서로서 성능은 우수하지만 미세한 작업에 지장을 초래하므로 산업 현장에 적용하기에 곤란하다. 절삭저항의 간접적 측정방법으로 모터전류를 측정하는 방법은 절삭저항의 변화를 시보계를 거쳐서 검출하게 되므로 공구동력계로 얻은 절삭력과 비교해서 S/N비와 대역폭이 떨어지는 단점을 가지고 있으나, 작업에 지장을 주지 않고, 저가이며 공작기계 구조물의 변경이 필요 없으므로 공구동력계를 대신하여 산업현장에 널리 이용되고 있다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 드릴가공시 검출한 주축 및 Z축 모터전류를 기초로 하여 드릴마멸을 추정하는 모델을 개발하고자 한다.

2. 드릴링 공정 모델링- 토크/추력을 이용한 드릴마멸량 검출<sup>[4,5]</sup>

드릴에서의 절삭은 주절삭날과 치끝에서 일어나며, 그림1처럼 3부분으로 나누어서 각각 별개의 절삭모델을 가

지고 모델링 하였다. 그림2는 드릴상에서의 절삭력분포를 나타낸다. 드릴에 가해지는 전체 토크 및 추력은 각각의 모델로부터 구한 토크 및 추력을 합쳐서 구한다.

전체 토크 :

$$T = T_{lip} + T_{outer} = F_t \cdot \frac{d}{2} + F_{tc} \cdot c \quad (1)$$

전체 추력 :

$$F_z = F_z_{lip} + F_z_{outer} + F_z_{inner} \quad (2)$$

(1)주절삭날 모델

실제 절삭이 이루어지는 곳으로, 절삭날이 직선이고, 절삭날의 바깥부분에서 이송속도가 회전속도에 비해 무시할 만큼 작다고 가정하면 주절삭날에 대해서 2차원 절삭모델로 모델링이 가능하다. 그림3은 주절삭날에 대한 2차원 절삭모델을 나타낸다.

주절삭날에 가해지는 절삭저항  $F_c$ 의 절삭속도방향 분력  $F_t$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$F_t = F_1 + F_2 = U_c \cdot b \cdot t + T_y \cdot w \cdot b \quad (3)$$

여기서,

$F_1$  : 공구 여유면에 가해지는 힘

$F_2$  : 플랭크마멸에 의해 야기되는 진단력

$U_c$  : 비절삭저항 ( $U_c \approx H_B$ ),  $b$  : 절삭폭,  $t$  : 절삭깊이,

$w$  : 플랭크 마멸 크기,

$T_y$  : 공작물의 항복진단응력 ( $T_y \approx \frac{H_B}{6}$ )

드릴의 기하학적 형상으로부터

$$b = \frac{d}{2 \cos \alpha_p}$$

$$t = (f/2) \cdot \cos \alpha_p \quad (4)$$

$$\alpha_p = 90^\circ - \frac{\text{point angle}}{2}$$

여기서,

$\alpha_p$  : 경사각,  $d$  : 공구지경,  $f$  : 이송  
 신단각(point angle)이  $118^\circ$ -인 경우,  $\alpha_p = 31^\circ$

주철삭날 부분의 토크  $T)_{hp}$ 은

$$T)_{hp} = F_t \cdot \frac{d}{2} + 0.125H_n \cdot f \cdot d^2 + 0.0485H_n \cdot d \cdot w \quad (5)$$

와 같이 구해진다.

철삭속도의 수직방향 철삭분력  $F_{ar}$ 는

$$F_{ar} = F_n \cdot \tan(\beta - \alpha_p) = 0.26 \cdot F_{tr} \quad (6)$$

여기서,  $\beta$ :마찰각(2차원 철삭인 경우,  $\beta = 30^\circ + \alpha_p/2$ )

이므로, 주철삭날 부분의 추력  $F_z)_{hp}$ 은

$$F_z)_{hp} = 2F_{tr} \cos \alpha_p = 0.112H_n \cdot f \cdot d + 0.043H_n \cdot d \cdot w \quad (7)$$

와 같이 구해진다.

### (2) 치출에지 모델

치출에지는 2개의 서로 다른 철삭과정으로 되어 있다. 바깥쪽 치출에지 영역은 보조철삭날로 철삭이 이루어지며, 드릴센터 가까운 부분에서는 도출동작(indenting action)이 이루어진다.

#### (a) 보조 철삭날 모델

이 부분에서는 철삭속도 방향이 이송속도와 회전속도의 영향을 받으므로 철삭속도 방향이 드릴축에 수직하지 않으므로 동적 경사각을 가지게 되므로 큰 음의 동적 경사각(large negative rake angle)을 가지는 2차원 철삭모델로 모델링하였다. 그림 4는 보조철삭날에 대한 2차원 철삭모델이다.

철삭저항 R의 철삭속도 방향분력

$$F_c' = U_c \cdot B_c \cdot t_c = 0.045H_n \cos \gamma \cdot f \cdot d \quad (8)$$

여기서,

$t_c$ : 치출에지 부분의 철삭깊이,  $t_c$ : 치출에지 부분의 철삭폭

$c$ : 치출에지폭(표준 트위스트 드릴의 경우  $c = 0.18d$ )

$\gamma$ : 이송각

드릴의 기하학적 형상으로부터

$$t_c = \frac{f \cos \gamma}{2}$$

$$b_c = \frac{c}{2} = 0.09d \quad (9)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{f}{\pi \cdot r_i} \quad (r_i: \text{치출에지상의 입의의 반지름})$$

치출에지의 경우 큰 음의 경사각 때문에 항력 R이 경사면에 수직해서 작용하므로 마찰각을 영으로 가정할 수 있다. 따라서 철삭속도 방향에 수직방향 분력  $F_t'$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$F_t' = F_c \tan(-\alpha_d) = 0.045 \cos \gamma \tan(-\alpha_d) H_n \cdot f \cdot d \quad (10)$$

치출에지상의 동적 경사각은 (11)식으로 구한다.

$$\alpha_d = \alpha_s + \gamma$$

$$\alpha_s = -|\tan^{-1}[\tan(\alpha) \cos(\pi - \theta_c)]| \quad (11)$$

$\alpha_d$  : 치출에지의 동적경사각,  $\alpha_s$  : 치출에지의 정적경사각  
 $v$  : 신단각,  $\theta_c$  : 치출에지각

드릴축에 수직한 방향분력  $F_p$ 는

$$F_p = F_c' \cos \gamma + F_t' \sin \gamma \quad (12)$$

과 같이 구해지며 드릴축 방향분력  $F_q$ 는

$$F_q = F_c' \sin \gamma + F_t' \cos \gamma \quad (13)$$

와 같이 구해지므로

치출에지의 바깥쪽 영역에서의 토크:

$$T)_{outer} = F_p \cdot c = 0.18 F_p \cdot d \quad (14)$$

치출에지 바깥쪽 영역에서의 추력:

$$F_z)_{outer} = 2F_q \quad (15)$$

와 같이 구해진다.

### (b) 도출모델(indentation model)

드릴 센터부근의 동작을 william은  $\delta L = 5/\pi$ 의 폭을 가지는 칩이 드릴 이송과 같은 길이 만큼 파고 들어가는 것으로 모델링하였다. william의 연구결과에 의하면 치출에지의 도출작용으로 인한 추력은

$$F_z)_{inner} = 12H_n \cdot f^2 \tan \alpha_w \quad (16)$$

여기서,  $2\alpha_w$ 는 칩각으로 다음과 같이 구해진다.

$$2\alpha_w = \alpha_p + (90^\circ - \delta) \quad (\delta: \text{relief angle})$$

따라서 철삭조건, 드릴형상, 공작물의 경도가 미리 주어지는 경우 전체토크와 추력은 단지 플랭크 마일만의 함수가 되므로 토크와 추력을 측정함으로써 플랭크 마일크기를 간접적으로 측정할 수 있다.

### 3. 시보게 모델링-주축/Z축 모터진류를 이용한 토크/추력의 검증

본 연구에서 사용한 머시닝 센터는 주축 및 Z축 이송 모터로 AC 시보 모터를 사용하고 있다. AC 시보 모터는 dq 좌표변환에 의해 3상 진류 신호를 게자 진류 성분과 토크 진류성분으로 나눈 후 벡터제어를 통해 제어한다.

#### (1) 주축계<sup>[6]</sup>

그림 5는 본 연구에서 사용한 머시닝 센터의 주축계를 나타낸다. 주축모터는 IM형 AC 시보 모터이며, 주축과 타 이밍 벡터로 연결되어 1:1 기변속이 가능한 구조로 되어 있다. 모터 내부에서는 3상 교류가 흐르지만, 교류와 동기해서 회전하는 dq축에서 생각하면 상대속도가 영이 되므로 교류를 직류로 간주할 수 있으므로 모델링이 간단해진다. dq축으로 변환된 IM형 AC 시보 모터의 전압·전류방정식은 다음식과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} V_d \\ V_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1 & -\sigma L_1 w \frac{L_2}{M} \\ L_1 p w & \sigma L_1 (p + \frac{K_1}{\sigma L_1} + \frac{R_2}{\sigma L_2}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{2d} \\ i_{2q} \end{pmatrix} \quad (17)$$

여기서,  $V_d$ : 게자전압,  $V_q$ : 토크전압,  $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$

$i_{2d}$ : 2차 진류의 게자진류,  $i_{2q}$ : 2차 진류의 토크진류  
 $p$ : 극수,  $P$ : 미분자,  $M$ : 상호 인덕턴스,  $w$ : 모터회전속도이다.

순시 토크  $T_m$ 은

$$T_m = 3pM i_{2a} i_{2q} = K_f \cdot i_{2q} \quad (18)$$

이 된다. 벡터제어에 의해  $i_{2a}$ 가 일정하게 제어되므로, 순시 토크는  $i_{2q}$ 에 비례하게 된다.

운동방정식은

$$T_m = J \frac{d\omega}{dt} + (T_d + T_f + B\omega) \quad (19)$$

와 같이 구해진다.

그림 6은 주축계에 대한 블록선도이다.

주축계의 경우 viscous damping 토크( $T_b$ )와 마찰토크( $T_f$ )가 외란 토크( $T_d$ )의 영향을 받으므로 뎀핑토크와 마찰토크는 각각

$$T_b = T_{b0} + \delta T_d = B\omega + b[\delta T_d] \omega \quad (20)$$

$$T_f = T_{f0} + \delta T_f = T_{f0} + c[\delta T_d] \omega \quad (21)$$

와 같이 주어진다. 운동방정식을 모터전류 전류형으로 나타내면

$$\frac{dI_{2q}}{dt} + \frac{1}{\tau} I_{2q} = \frac{K_t}{J(R_1 L_{22} + R_2 L_{11})} (\delta T_d + T_{f0} + c[\delta T_d] \omega + \frac{B_{eq}}{K_t} V_q) \quad (22)$$

$$\text{여기서, } \tau = \frac{J}{\frac{K_t K_f}{R_1 L_{22} + R_2 L_{11}} + B_{eq}}, \quad B_{eq} = B + b[\delta T_d] \omega$$

와 같이 구해지며, 정상상태에서 외란토크의 변화로 인한 모터전류의 변화( $\delta I_{ss}$ )는

$$\delta I_{ss} = \frac{1}{K_f} [\delta T_d + c[\delta T_d] \omega + b[\delta T_d] \omega \omega] \quad (23)$$

이 되며, 민일  $T_b$ 와  $T_f$ 가 외란에 의해 받는 영향이 무시할 정도로 작다고 가정하면

$$\delta I_{ss} = \frac{1}{K_f} \delta T_d \quad (24)$$

이 된다. 외란토크 변화량( $\delta T_d$ )은 전사토크 변화량( $\delta T_c$ )에 비례하므로 식 (24)는 다음과 같이 표현된다.

$$\delta I_{ss} = \frac{K_1}{K_f} \delta T_c = K \delta T_c \quad (25)$$

즉 정상상태에서의 모터전류의 증분은 전사토크의 증분에 비례한다는 것을 알 수 있다. 따라서 주축 모터전류의 증분을 검출하므로 공구마멸로 인한 전사토크의 증분을 간접적으로 검출할 수 있다.

## (2) Z축 이송계<sup>17)</sup>

그림 7은 수직형 머시닝 센터의 Z축 이송계를 나타낸다. 수직형 머시닝 센터의 Z축 이송계의 경우 자중의 영향을 고려해 주어야 한다. 주축모터는 SM형 AC 시보 모터이며, 커플링을 통해 볼스크류와 직결되어 있다. 모터에 가해지는 3상 신호에 대해 dq축 변환한 전압·전류방정식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} V_d \\ V_q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \omega L_a & R_a + pL_a \\ R_a + pL_a & -\omega L_a \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \Phi \end{pmatrix} \quad (26)$$

순시토크  $T_m$ 은

$$T_m = \frac{3}{4} \cdot p \cdot \Phi \cdot i_q = K_t \cdot i_q \quad (27)$$

와 같이 구해지며

운동방정식

$$T_m = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_f + T_d - T_w \quad (28)$$

$T_f$ : 마찰토크,  $T_w$ : 자중에 의한 토크,  $T_d$ : 외란토크와 같이 주어진다.

그림 8은 Z축 이송계에 대한 블록선도이다.

운동방정식을 모터전류형으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{dI_q}{dt} + \frac{1}{\tau} I_q = \frac{1}{R} \left( \frac{dV_q}{dt} + \frac{1}{\tau} B\omega \right) + \frac{1}{JR} (T_d + T_f - T_w) \quad (29)$$

$$\text{여기서 } \tau: \text{시정수, } \tau = \frac{J}{B + \frac{K_t}{R}}$$

정상상태인 경우 (30)와 같이 표현되며

$$\frac{I_q}{\tau} = \frac{1}{RJ} BV + \frac{1}{RJ} (T_d + T_f - T_w) \quad (30)$$

일반적으로  $BR \ll K_t^2$ 이므로

$$I_q = \frac{1}{R} (B\omega + T_w - T_f - T_d) \quad (31)$$

위식에서  $\frac{1}{R} (B\omega + T_w - T_f)$ 항은 모터구동에 필요한 torque 성

분을 나타내며, 외란토크가 증가할 수록 모터에 가해지는 전류는 감소함을 알 수 있다.

정상상태에서 마찰토크와 전사토크가 일정하다면 외란토크의 변화로 인한 모터전류의 변화량을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\delta I_{ss}}{\delta T_d} = -\frac{1}{K_t} \quad (32)$$

외란토크의 변화량  $\delta T_d$ 는, 드릴의 경우, 추력  $\delta F_t$ 의 변화량에 비례하므로

$$\frac{\delta I_{ss}}{\delta F_t} = -\frac{K}{K_t} = -K \quad (33)$$

가 구해진다. 즉 정상상태에서의 모터전류의 증분은 추력의 증분에 비례한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 Z축 모터전류의 증분을 검출하므로 공구마멸로 인한 추력의 증가를 간접적으로 검출할 수 있다.

## 4. 모터전류를 기초로 한 플랭크 마멸의 온라인 추정

그림 9는 모터전류를 기초로 하여 드릴의 플랭크 마멸을 추정하는 시스템의 구성을 나타낸다. 공작물의 정도, 드릴의 기하학적 형상, 전사조건과 좌입 중 측정된 모터전류값을 이용하여 실시간적으로 플랭크 마멸의 크기 변화를 추정하였다.

## 5. 실험장치 및 방법

그림 10은 실험장치도이다. 머시닝 센터는 수직형 AV-30(대우중공업제)이고, 데이터 레코더는 비디오 카세트 데이터 레코더(RACAL V-store)이다. 모터전류는 NC 장치에 내장된 홀센서의 출력값을 이용하여 검출하였다.

핑기작업에 사용한 공작물의 재질은 S45C(Hb180)이며, 드릴은 직경이 14mm, 6mm인 표준 트위스트 드릴이며, 드릴의 재질은 고속도강이다. 표 1은 실험에 사용한 전사조건

을 나타내며, 표 2는 사용한 드릴의 기하학적 형상을 나타낸다. 미시닝 센터의 주축 AC 시보 모터의 토크상수는 10 kg·cm/A이고, Z축 AC 시보 모터의 경우는 15.7 kg·cm/A이다.

표 1 절삭조건

Diameter[mm]	Speed[rpm]	Feed[mm/rev]	doc[mm]
4	2800	0.1	8
6	1800	0.15	12

표 2. 드릴의 기하학적 형상

point angle	chisel edge angle	relief angle
118 °	130 °	12 °

(1) 신호처리

주축모터진류는 내장된 홀센서로 부터 검출된 3상 진류의 합성진류가 NC 장치내에 로드미터 인걸단자로 나와 있으므로 로드미터 인걸단자 양단 진압으로 검출하였으며, 모터 드라이브내의 캐리어 주파수로 인해 생기는 고주파의 잡음신호를 제거하기 위해 50 Hz의 LPF를 사용하여 잡음을 제거하였다. Z축 모터진류는 홀센서로 부터 검출된 2상(Is, Ir)진류를 고주파 잡음신호를 제거하기 위해 50 Hz의 LPF를 기친 후, 자체 제작한 3상 진류합성회로를 통과시키 합성진류를 검출하였다. 드릴마멸은 예기치 못한 드릴 파손과 달리 점진적으로 진행하므로 가공구멍단위로 드릴 마멸크기를 추정하였다. 모터진류는 500 Hz의 샘플링 주기로 12비트 A/D 변환한 뒤, 드릴구멍단위로 평균진류값을 구한 다음 드릴의 플랭크 마멸을 추정하였으며, 이때 전체적인 변화의 경향을 얻기 위해 지수평활화법을 이용하여 평활화하였다.

$$y_i = \rho y_{i-1} + (1-\rho) x_i \quad (34)$$

여기서  $x_i$ 는 모터진류의 평균값,  $y_i$ 는 평활화된 모터진류 평균값,  $\rho$ 는 가중치 인데, 전체적인 변화형태를 약간 강조하기 위해  $\rho$ 를 0.65로 정하였다.

6. 실험결과 및 고찰

앞에서 구한 토크 및 추력에 관한 식에 주어진 드릴의 기하학적 형상, 절삭조건, 공작물 경도값을 대입해서 예측 토크 및 예측추력을 구하면 다음과 같이 구해진다.

φ 4mm인 경우

$$T = T_1 + T_2 = (44 + 170.72w) + (3.054)$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} = (9.856 + 37.84w) + 7.74 + 6.619$$

φ 6mm인 경우

$$T = T_1 + T_2 = (121.5 + 314.28w) + 8.432$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} = (18.144 + 46.44w) + 14.248 + 11.356$$

토크의 경우 주철삭날에서 생기는 토크가 전체 토크의 약 94%를 차지하며, 저출 예지에서 생기는 토크는 비교적 적은 6%만을 차지함을 알 수 있다. 한편 추력의 경우는

주철삭날의 추력성분이 전체 추력에 대해 약 42%를 차지하며, 저출 예지 영역의 토크성분이 약 58%를 차지함을 알 수 있다. 저출예지가 토크에 미치는 영향은 적으나, 추력에서는 전체 추력의 약 50~60%를 차지함을 알 수 있다.

(1) 주축/ Z축 모터진류와 드릴마멸과의 관계

φ 4mm 드릴로 공구가 심각하게 마멸된 때까지 가공하면 시 주축/Z축 모터진류와 플랭크 마멸사이의 관계를 알아보기 위해 20, 40, 60, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 320, 360, 400, 440, 450개 가공후 공구현미경(NIKON제)을 이용하여 드릴의 플랭크 마멸 크기를 직접 측정된 사진을 찍었다. 그림 11은 가공된 구멍갯수에 따른 플랭크 마멸 크기변화를 나타내며, 그림 12은 이 때 모터진류값의 변화를 나타낸다. 실선으로 표시된 데이터는 이론적으로 예측한 예측 모터진류값을 나타내며 점선은 실제 측정된 모터진류값을 나타낸다. 모터진류의 증가곡선이 플랭크 마멸의 증가곡선과 경향이 비슷함을 알 수 있으며, 공구교환시점으로 플랭크 마멸의 크기를 0.25mm로 잡았다. Z축 모터진류의 경우 플랭크 마멸이 진행할 수록 감소하는데 이는 추력이 자중의 반대방향으로 작용하므로 추력이 할수록 실제 모터에 걸리는 부하가 감소하기 때문이다. 주축/Z축 모터진류의 예측값과 실제 측정값이 잘 일치함을 알 수 있다.

(2) 주축/Z축 모터진류를 기초로 한 플랭크 마멸의 실시간 검출

인속적인 구멍 가공 작업에 대해, 검출한 주축/Z축 모터진류로부터 드릴마멸 크기를 실시간으로 추정하면서 공구 마멸의 진행상태를 감시하였다. 그림 13은 φ 4mm 드릴 작업 때의 모터진류의 변화를 나타내며, 그림 14는 이 때의 예측된 플랭크 마멸의 변화를 나타낸다. 플랭크 마멸의 심한 변동은 공작물 재질의 불균일, 칩배출 상태 등에 의해 생기는 절삭저항의 변동이 반영된 것으로 판단된다. φ 4mm 작업의 경우 약 388개 가공후 공구교환 시점으로 판단되었으며 400개 가공후 파손되었다. 그림 15는 φ 6mm 드릴작업 때의 모터진류의 변화를 나타내며, 그림 16은 이 때의 예측 플랭크 마멸의 변화를 나타낸다. φ 6mm 작업의 경우 약 460개 가공후 공구교환시점으로 판단되었으며, 475개 가공후 파손되었다.

7. 결론

본연구에서는 드릴가공시 검출한 주축/Z축 모터진류를 기초로하여 드릴의 플랭크 마멸량을 추정하는 모델을 개발하였으며 평가실험을 통해 모델의 성능을 평가하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 주축/Z축 모터진류를 기초로하여 드릴 마멸을 추정하는 모델을 개발하였다.
- (2) 플랭크 마멸 진행에 따른 주축/Z축모터진류의 변화 형태가 플랭크 마멸 곡선과 일치함을 알았다.
- (3) 개발한 모델을 이용하여 드릴마멸량을 실시간으로 추정하였다.

8.참고문헌

- [1]菅野 建 ほか, "ITV利用によるドリル刃先摩耗の自動計測", 日本精密工学会論文集, Vol.44, No.385, 1978
- [2]A.Thangaraj, P.K.Wright, "Computer assisted Prediction of Drill-failure Using In-process Measurements of Thrust Force", ASME J.of Eng.for Industry, Vol.110, MAY, 1988
- [3]M.kashimoto, et, "Development of a Tool Breakage Detection System", Proceedings of the CIRP Seminare, Vol.12, 1983
- [4]K.Subranian, N.H.Cook, "Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life", ASME J.of Eng.for Industry, Vol.99, MAY, 1977
- [5]R.A.Williams, "A Study of the Drilling Process", ASME J.of Eng.for Industry, Vol.96, NOV, 1974
- [6]見城尚志, ACサーボモータとマイコン制御, 総合電子出版社
- [7]上手康彦, ブラシレスサーボモータの基礎と應用, 総合電子出版社

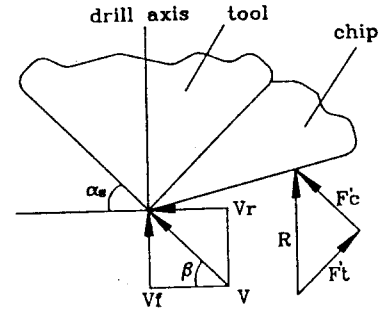


그림4. 치중예지에 대한 2차원 전삭모델

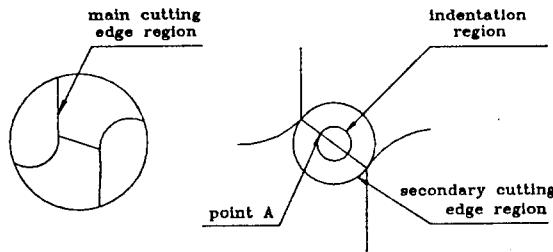


그림1. 드릴의 형상

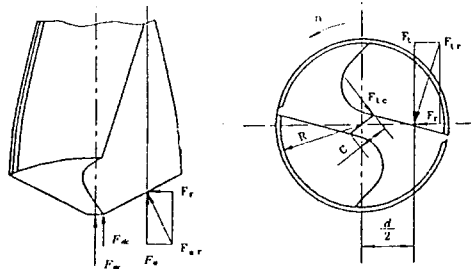


그림2. 트위스트 드릴상의 전삭력 분포

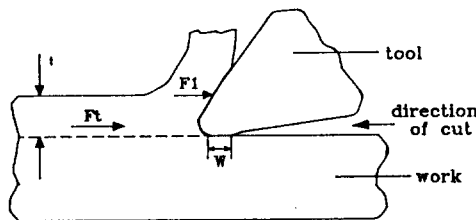


그림3. 주전삭남에 대한 2차원 전삭모델

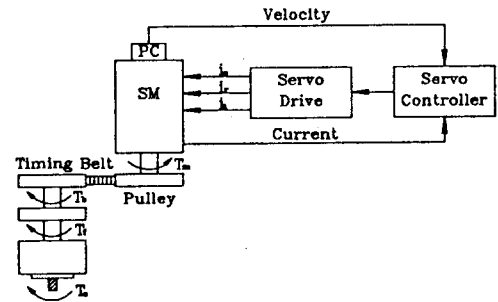


그림5. 머시닝센터의 주축계

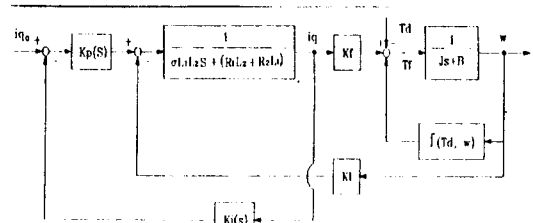


그림6. 주축계의 분리선도

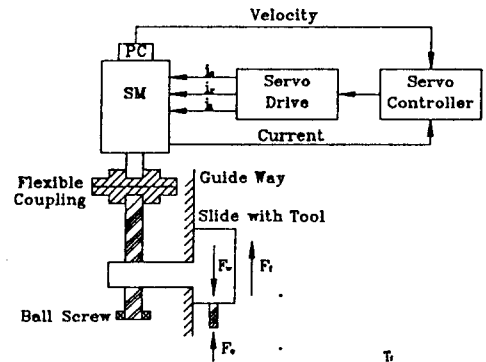


그림7. 머시닝센터의 Z축이송계

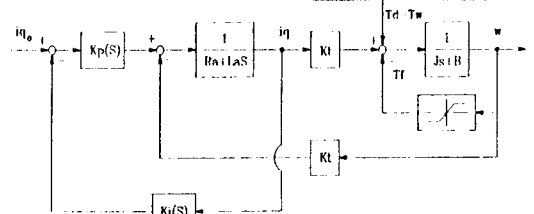


그림8. Z축이송계의 분리선도

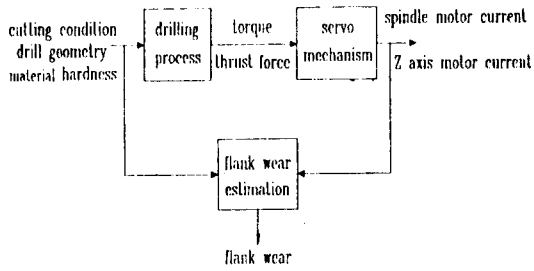


그림9. 플랭크 마멸추정 구성도

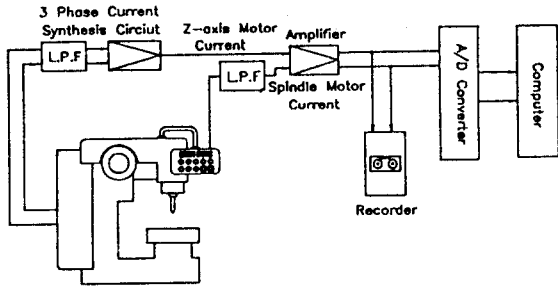


그림10. 실험 장치도

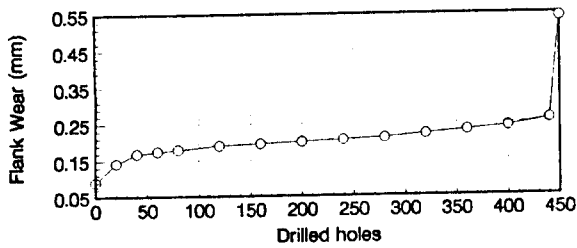


그림11 작업진행에 따른 플랭크 마멸의 변화

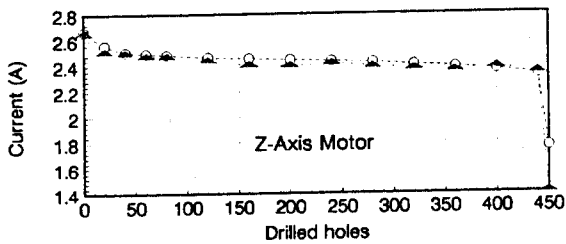
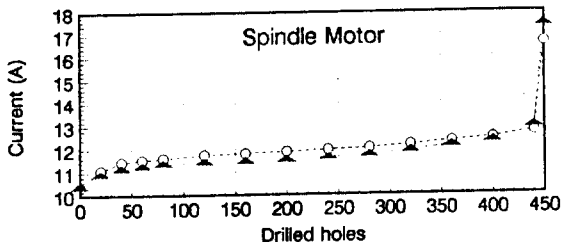


그림12 작업진행에 따른 모터전류값 변화

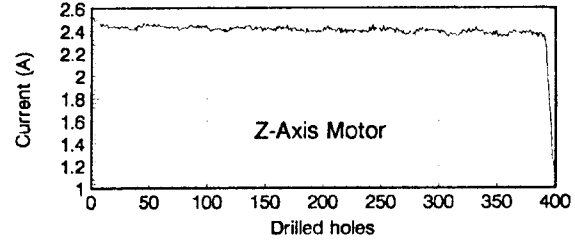
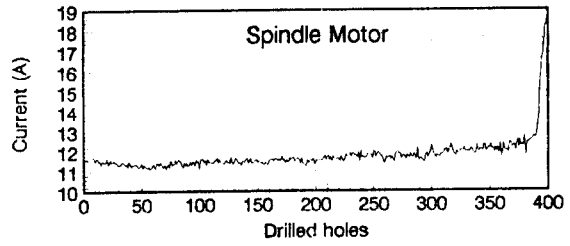


그림13 작업진행에 따른 모터전류값 변화(Φ1mm)

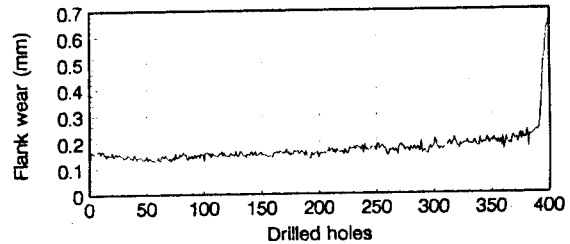


그림14 작업진행에 따른 공구마멸 예측값의 변화

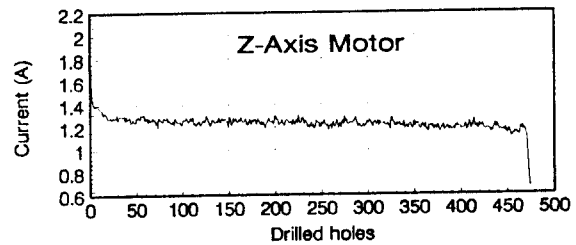
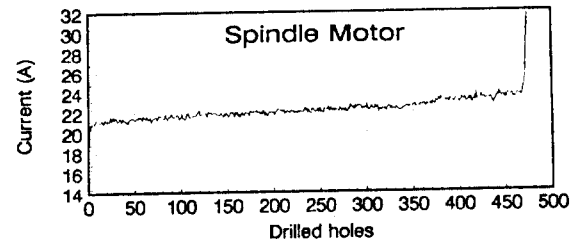


그림15 작업진행에 따른 모터전류값 변화(Φ6mm)

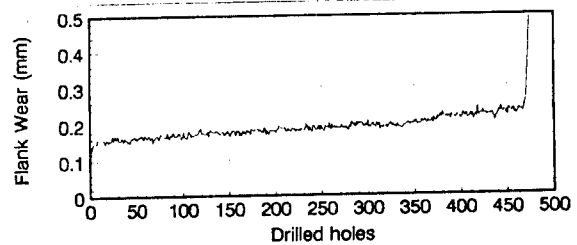


그림16 작업진행에 따른 공구마멸 예측값의 변화